

(نموذج تمويل إسلامي مستدام قائم على البلوكتشين لدعم مشروعات احتجاز وتخزين الكربون في المملكة العربية السعودية)

(A Sustainable Islamic Financing Model Based On Blockchain To Support Carbon Capture And Storage Projects In Saudi Arabia)

د. مصطفى محمود عبد السلام

أستاذ مشارك قسم الاقتصاد-كلية الادارة والاقتصاد-جامعة أم القرى

E-mail: mabdelsalam@uqu.edu.sa

تاريخ النشر: 15/3/2026

تاريخ القبول: 1/3/2026

تاريخ الاستلام: 1/12/2025

ملخص:

تعد تقنيات احتجاز وتخزين الكربون (CCS) ركيزة أساسية في استراتيجية المملكة العربية السعودية للوصول إلى الحياد الصفري بحلول عام 2060. ومع ذلك، يواجه تمويل هذه المشروعات تحديات تتعلق بضخامة التكاليف الرأسمالية، ونقص الشفافية، وطول فترة استرداد الاستثمار. تهدف هذه الدراسة إلى تقديم نموذج تمويل مبتكر يدمج بين الصكوك المستدامة وتقنية البلوكتشين (Blockchain) لسد الفجوة التمويلية في هذا القطاع. اعتمدت الدراسة على المنهج الاستنباطي التحليلي، مع استخدام أداة التحليل الاستراتيجي (SWOT) لتقييم كفاءة النموذج المقترح. توصلت النتائج إلى أن استخدام العقود الذكية (Smart Contracts) يساهم في خفض تكاليف المعاملات بنسبة كبيرة، ويعزز الثقة لدى المستثمرين من خلال الأتمتة الكاملة للامتثال الشرعي والبيئي وتتبع الانبعاثات بشكل آني وغير قابل للتلاعب. تخلص الدراسة إلى وضع خارطة طريق تنفيذية تربط بين الجهات الفاعلة في المملكة (مثل مبادرة السعودية الخضراء ووزارة الطاقة) لتفعيل هذا النموذج، وتوصي بضرورة تطوير أطر تشريعية تدعم الصكوك الرقمية لتعزيز مكانة المملكة كمركز عالمي للاقتصاد الدائري للكربون والتمويل الأخضر.

كلمات مفتاحية: احتجاز الكربون، الصكوك المستدامة، البلوكتشين، رؤية المملكة 2030، التمويل الإسلامي، العقود الذكية..

JEL.....: G0,G1,G2,G3,G4.

Abstract

Carbon Capture and Storage (CCS) technologies are a fundamental pillar of Saudi Arabia's strategy to achieve Net-Zero emissions by 2060. However, financing these projects faces significant hurdles, including high capital intensity, lack of transparency, and long payback periods. This study aims to propose an innovative financing model that integrates Sustainable Sukuk with Blockchain technology to bridge the funding gap in this sector. The research employs a deductive-analytical approach, utilizing a SWOT analysis to evaluate the efficiency of the proposed model. The findings indicate that the implementation of Smart Contracts significantly reduces transaction costs and enhances investor confidence through the full automation of Sharia and environmental compliance, providing real-time, immutable tracking of carbon sequestration. The study concludes by presenting an executive roadmap linking key national stakeholders (e.g., the Saudi Green Initiative and the Ministry of Energy) to operationalize this model. It recommends developing regulatory frameworks for Digital Sukuk to solidify the Kingdom's position as a global hub for the Circular Carbon Economy (CCE) and green finance. **Keywords:** keywords; keywords; keywords; keywords; keywords: Carbon Capture (CCS), Sustainable Sukuk, Blockchain, Saudi Vision 2030, Islamic Finance, Smart Contracts.

Jel Classification Codes:...G0,G1,G2,G3,G4.

1. مقدمة:

تعد تقنيات احتجاز وتخزين الكربون واحدة من الحلول الحيوية للحد من انبعاثات غازات الدفيئة التي تمثل أحد الأسباب الرئيسية لظاهرة الاحتباس الحراري، وتسهم هذه التقنيات في التقاط ثاني أكسيد الكربون الناتج عن الأنشطة الصناعية وتخزينه في أماكن آمنة تحت سطح الأرض، مما يقلل من التأثيرات السلبية لتلوث الهواء ويساهم في تحقيق الأهداف العالمية المتعلقة بالاستدامة. تهتم المملكة العربية السعودية بتطوير هذه التقنيات ودعم مشروعات احتجاز الكربون، في إطار رؤية المملكة 2030، التي تهدف إلى تحقيق التوازن بين التنمية الاقتصادية والحفاظ على البيئة، وتعزيز التنوع الاقتصادي من خلال الاستثمار في مشروعات مبتكرة ومستدامة. وبالرغم من أن المملكة تسعى بقوة إلى تعزيز استخدام تقنيات احتجاز الكربون، فإن تمويل هذه المشروعات يُعد أحد التحديات الكبرى التي تقف عائقاً أمام تحقيق أهدافها البيئية. تتطلب مشروعات احتجاز الكربون استثمارات ضخمة في تكنولوجيا متطورة، بالإضافة إلى البنية التحتية اللازمة لتنفيذها وتشغيلها على المدى الطويل. وهنا تبرز الحاجة الماسة إلى آليات تمويل مبتكرة يمكن أن تسهم في تغطية هذه التكاليف، بالإضافة إلى توفير بيئة من الشفافية والكفاءة في تخصيص الموارد. وتمثل الصكوك المستدامة أحد هذه الأدوات التمويلية المبتكرة التي يمكن أن توفر الحلول المناسبة لهذه التحديات. فالصكوك، كأداة تمويل إسلامية قائمة على المشاركة في الأصول، تتميز بقدرتها على جذب الاستثمارات طويلة الأجل، وهي مناسبة تماماً لتمويل المشروعات البيئية ذات الأفق الزمني الممتد. وعند دمج الصكوك مع تقنيات البلوكتشين، يمكن تحقيق مستويات غير مسبوقة من الشفافية في تتبع الأموال المستخدمة في هذه المشروعات، مما يعزز من ثقة المستثمرين ويقلل من المخاطر المرتبطة بالاستثمار في هذه المشروعات. إن دمج تقنية البلوكتشين مع الصكوك المستدامة يمكن أن يوفر ضمانات إضافية في ما يتعلق بإدارة التمويل، وذلك من خلال تقنيات المراقبة والرقابة الدقيقة التي توفرها تقنية البلوكتشين، مما يساهم في تحسين كفاءة العمليات التمويلية وتدفقات الأموال. في هذا السياق،

يصبح من الضروري استكشاف كيفية استغلال هذه الأدوات الحديثة والابتكارية لتسريع تمويل مشروعات احتجاز الكربون في المملكة العربية السعودية وتحقيق أهدافها البيئية في إطار رؤية المملكة 2030.

مشكلة البحث:

تتطلب مشروعات احتجاز وتخزين الكربون في المملكة العربية السعودية استثمارات ضخمة في تقنيات متقدمة، بالإضافة إلى بنية تحتية متطورة لضمان تنفيذها بشكل فعال، وعلى الرغم من أهمية هذه المشروعات في تحقيق الأهداف البيئية، إلا إن عدم وجود موارد تمويل مستدامة تمثل أحد أهم المعوقات التي قد تؤثر على سرعة تنفيذها. وبناء على ذلك يبرز التساؤل الرئيس كيف يمكن لنموذج تمويلي إسلامي مبتكر يدمج بين (الصكوك المستدامة) وتقنية (البلوكشين) أن يساهم في سد هذه الفجوة التمويلية وتعزيز الثقة لدى المستثمرين لتحقيق أهداف رؤية 2030؟

ويتفرع منه التساؤلات التالية :

1. ما هي المعوقات الاقتصادية والتقنية التي تواجه تمويل مشروعات احتجاز الكربون في المملكة؟
2. كيف تساهم تقنية البلوكشين والعقود الذكية في خفض مخاطر الاستثمار في هذه المشروعات؟
3. ما هي الهيكلية المقترحة للصكوك الرقمية التي تضمن الامتثال الشرعي والآلي؟

أهمية البحث:

تكسب هذه الدراسة أهميتها من كونها استجابة علمية وعملية لواحد من أكثر التحديات تعقيداً في مسيرة التحول الأخضر، وتتجلى هذه الأهمية في الأبعاد التالية:

الأهمية العلمية والأكاديمية: (Scientific & Academic Significance)

- سد الفجوة المعرفية: يساهم البحث في إثراء الأدبيات الاقتصادية من خلال دمج ثلاثة حقول معرفية نادراً ما تجتمع في دراسة واحدة: (التمويل الإسلامي، تقنية البلوكشين، وهندسة احتجاز الكربون).

- تأصيل التمويل الرقمي المستدام: يقدم البحث إطاراً نظرياً جديداً لكيفية تحويل "الأصول البيئية" إلى "أصول مالية رقمية" (Tokenization) متوافقة مع الشريعة، مما يفتح آفاقاً للباحثين في مجالات الاقتصاد الرقمي والتمويل الأخضر.

الأهمية الاقتصادية والمالية: (Economic & Financial Significance)

- ابتكار أدوات تمويلية منخفضة التكلفة: تبرز أهمية البحث في تقديم نموذج يقلص "تكاليف المعاملات (Transaction Costs)" بنسب كبيرة عبر أتمتة الإجراءات، مما يجعل المشاريع البيئية ذات النفقات الرأسمالية العالية أكثر جاذبية للقطاع الخاص.

- تعزيز الموثوقية الاستثمارية: من خلال توظيف البلوكشين، يقدم البحث حلاً جذرياً لمشكلة "عدم تماثل المعلومات"، مما يرفع من تصنيف الصكوك السعودية في مؤشرات الحوكمة والبيئة والمجتمع (ESG) العالمية، ويجذب رؤوس الأموال الأجنبية الباحثة عن استثمارات "نظيفة" وموثوقة.

الأهمية الاستراتيجية والوطنية: (Strategic & National Significance)

- دعم رؤية المملكة 2030: يوفر البحث "خارطة طريق" تنفيذية تدعم بشكل مباشر أهداف "مبادرة السعودية الخضراء" للوصول إلى الحياد الكربوني، من خلال توفير آليات تمويلية مبتكرة لا تعتمد كلياً على الإنفاق الحكومي المباشر.

- الريادة العالمية في الاقتصاد الدائري للكربون: تكمن أهمية الدراسة في تعزيز مكانة المملكة كقائد عالمي في "الاقتصاد الدائري للكربون" (CCE)، من خلال تقديم نموذج يربط بين التفوق الحيولوجي في تخزين الكربون وبين الابتكار في التقنيات المالية. (FinTech)

الأهمية التشغيلية والتقنية: (Operational & Technical Significance)

- التحول من الرقابة التقليدية إلى الأتمتة: تبرز أهمية النموذج في استبدال نظم التدقيق الورقية والمركزية بـ "عقود ذكية" تضمن توزيع العوائد بناءً على الأداء البيئي اللحظي، مما يقلل من المخاطر التشغيلية والقانونية المرتبطة بمشاريع احتجاز الكربون.

منهجية البحث وخطته:

يعتمد البحث على المنهج الاستنباطي من خلال عرض الإطار الفكري للتمويل بالصكوك المعتمدة على تقنية البلوكتشين، وتحديد الخطوات العملية والتي يمكن أن تسد الفجوة التمويلية في قطاع الطاقة النظيفة والتي تعد من أهم أهداف رؤية المملكة 2030. يتناول البحث في محوره الأول أهمية مشروعات احتجاز وتخزين الكربون في المملكة العربية السعودية والتحديات التمويلية التي تواجهها، بينما يتعرض البحث في المحور الثاني لدور الصكوك المستدامة في تمويل مشروعات احتجاز وتخزين الكربون في المملكة العربية السعودية، فيما يبرز المحور الثالث إمكانية تطبيق الصكوك المستدامة باستخدام تقنية البلوكتشين لتمويل مشروعات احتجاز الكربون وذلك في ظل رؤية المملكة 2030.

2. مشروعات احتجاز وتخزين الكربون في المملكة العربية السعودية : الأهمية والتحديات

أعلنت المملكة العربية السعودية عن التزامها بتحقيق صافي انبعاثات صفرية بحلول عام 2060، مع تحديد هدف طموح لاحتجاز 44 مليون طن سنوياً من الكربون بحلول 2035. وقد دعمت شركة أرامكو السعودية هذه الجهود من خلال رفع هدفها لاحتجاز الكربون إلى 14 مليون طن سنوياً (أرامكو السعودية، 2024).

ويعد مركز التقاط الكربون وتخزينه في الجبيل أحد المشاريع الرائدة التي تدفع عملية التقاط الكربون وتخزينه في المملكة. ويهدف هذا المشروع، وهو الأكبر في منطقة الشرق الأوسط وأفريقيا، إلى تخزين ما يصل إلى 9 ملايين طن سنوياً من ثاني أكسيد الكربون بحلول عام 2027، وتتضمن المرحلة الأولى من المشروع، بدعم من الهندسة والتصميم التفصيلي الذي أكملته شركة وود، تطوير مرافق جديدة للتحفيف والضغط وشبكة خطوط أنابيب شاملة تمتد على مسافة 200 كيلومتر لنقل ثاني أكسيد الكربون في المرحلة الكثيفة. وتسهم مشروعات احتجاز الكربون في تحقيق تنوع اقتصادي في المملكة العربية السعودية من خلال تحفيز الاستثمارات الضخمة في التقنيات المستدامة. على سبيل المثال تم إطلاق مشروع محطة احتجاز الكربون في جازان والذي يعد أحد أبرز المشروعات في المملكة العربية السعودية ويهدف إلى تقليل الانبعاثات الناتجة عن منشآت البتروكيماويات. يتوقع أن يساهم المشروع في تقليل حوالي 3.8 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً. (Al-Hassan, 2022)

كذلك تخطط المملكة العربية السعودية لتحويل التجمعات الصناعية في الجبيل وينبع إلى مراكز إقليمية لالتقاط وتخزين الكربون، وتضم هذه التجمعات عدداً من الصناعات التي يصعب احتوائها، بما في ذلك معالجة الغاز وتوليد الطاقة والبتروكيماويات والإسمنت وتصنيع الصلب وإنتاج الهيدروجين في مصافي النفط. بالإضافة إلى ذلك، فهي تقع فوق سعة تخزين جيولوجية كبيرة لثاني أكسيد الكربون تبلغ 5.2 جيجا طن في خزانات الغاز المستنفدة و 318-40 جيجا طن في حوض الربع الخالي.

وتسمح مراكز التقاط الكربون وتخزينه الصناعية بالانتقال من المشاريع الصغيرة التي تتراوح من نقطة إلى نقطة أقل من مليون طن سنوياً إلى مشاريع أكثر تأثيراً وتوسعاً تتراوح من 10 إلى 50 مليون طن سنوياً. كما تسهل هذه المراكز خفض التكاليف والمخاطر من خلال استخدام البنية التحتية المشتركة للنقل والتخزين، وتمكين التقاط الكربون من مصادر أصغر حجماً، والحد من المخاطر التجارية للتخزين، وخلق اقتصاديات الحجم، وتوفير الفرصة للاندماج مع وديان الهيدروجين النظيفة والاتصال بمجموعات التقاط الكربون وتخزينه الإقليمية.

وتقوم وزارة الطاقة في المملكة العربية السعودية، بالتعاون مع معهد التقاط الكربون وتخزينه العالمي، بتقييم نماذج أعمال مبتكرة لتحفيز وتسهيل تطوير مراكز التقاط الكربون وتخزينه في المملكة، مع التركيز بشكل خاص على تخفيف المخاطر من خلال فصل المسؤوليات وتعزيز الكفاءة التشغيلية.

تم توقيع اتفاقيات مع شركات دولية لتمويل مشروعات احتجاز الكربون في المملكة العربية السعودية في عام 2021، حيث رصدت المملكة العربية السعودية استثمارات تصل إلى 5 مليار دولار في هذا القطاع بحلول 2025. (Khan, 2023) أشار تقرير المنتدى الاقتصادي العالمي لعام 2022 أن مشروعات احتجاز الكربون في المملكة العربية السعودية ستوفر آلاف الوظائف الجديدة خلال السنوات العشر القادمة. كذلك أوضحت تقديرات منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية (OECD) إلى أن المملكة العربية السعودية ستتمكن من خفض التكاليف المرتبطة بتأثيرات التغير المناخي بنسبة 10-15% من خلال الاستثمار في تقنيات احتجاز الكربون بحلول عام 2030. (Fadlallah, 2022)

كذلك تعمل هذه المشاريع أيضاً على تطوير البنية التحتية، خاصة في محطات احتجاز الكربون، التي تتطلب تقنيات متقدمة وأجهزة حديثة، مما يعزز من قدرة المملكة العربية السعودية على تحقيق نمو اقتصادي مستدام في المستقبل.

وعلى الرغم من جهود المملكة في دعم مشروعات احتجاز وتخزين الكربون إلا تلك المشروعات تواجه عدة تحديات أهمها:

- انخفاض الجدوى الاقتصادية لمشروعات احتجاز وتخزين الكربون ، فوفقاً لتقرير صادر عن مجلس الطاقة العالمي، فإن تكلفة الطاقة المنتجة من مشروعات احتجاز وتخزين الكربون تزيد بنسبة 30-50% مقارنة بالطاقة التقليدية، مما يجعلها أقل جاذبية اقتصادياً .

((Global-Status of CCS,2022

- ارتفاع تكاليف المشروعات بسبب تتطلب تقنيات احتجاز وتخزين الكربون استثمارات ضخمة في البنية التحتية، مثل خطوط الأنابيب ومرافق التخزين، مما يجعلها أقل جاذبية اقتصادياً مقارنة ببدايات أخرى حيث تتراوح تكلفة احتجاز الكربون بين 40 إلى 120 دولاراً للطن الواحد، مما يجعل هذه التقنيات مكلفة مقارنة ببدايات أخرى مثل الطاقة المتجددة ،و تتطلب تقنيات التخزين تحت الأرض تطورات تقنية متقدمة لضمان السلامة والفعالية على المدى الطويل(IEA, 2022) .

- نقص الاستثمارات الخاصة في مشروعات احتجاز وتخزين الكربون للأسباب التالية:
- ارتفاع التكاليف الأولية لإنشاء مشروعات احتجاز وتخزين الكربون ، مما يجعلها أقل جاذبية للمستثمرين الخاصين، فوفقاً لتقرير صادر عن الوكالة الدولية للطاقة(IEA) ، فإن تكلفة إنشاء البنية التحتية اللازمة لمشروعات CCS تتراوح بين 40 إلى 120 دولاراً للطن الواحد من الكربون المحتجز، وهو ما يمثل عبئاً مالياً كبيراً على القطاع الخاص.(IEA, 2022)
- عدم وضوح العوائد المالية للمشروعات على المدى القصير يجعلها أقل جاذبية للمستثمرين ، وفقاً لتقرير مجلس الطاقة العالمي، فإن فترة استرداد التكاليف لمشروعات CCS قد تصل إلى 10-15 سنة، وهو ما يعتبر فترة طويلة بالنسبة للمستثمرين

((Global-Status of CCS,2022 .

- ارتفاع المخاطر الفنية صعوبة احتجاز الكربون من المصادر الصناعية القديمة واحتمالية تسرب الكربون أثناء التخزين، مما يزيد من مخاطر الاستثمار.

- الحاجة إلى استثمارات مستدامة على المدى الطويل وهو ما يشكل تحدياً كبيراً في ظل الضغوط على الميزانية العامة ، على الرغم من بذل المملكة العربية السعودية جهوداً لزيادة مشاركة القطاع الخاص في هذه المشاريع، إلا أن انخفاض مشاركة المستثمرين من القطاع الخاص بسبب المخاطر العالية المرتبطة بتطبيق تقنيات جديدة مكلفة ذات جدوى اقتصادية غير مؤكدة، فعلى سبيل المثال مشروع الجبيل 2 لإنتاج الكهرباء باستخدام تقنيات احتجاز الكربون المشاريع المشتركة بين القطاعين العام والخاص، إلا إن الاستدامة المالية لهذه

المشروعات غير مؤكدة غياب نماذج تمويل مبتكرة ومستمرة • (KAUST, 2022) . تذبذب أسعار النفط والموارد المالية يؤثر بشكل مباشر على القدرة المالية للمملكة للاستثمار في مشروعات بيئية ضخمة مثل احتجاز الكربون، فالتقلبات الكبيرة في أسعار النفط تجعل الحكومة أكثر حذرًا في تخصيص الأموال لمشاريع طويلة الأجل قد تحتاج إلى استثمارات مستمرة ، مما يتطلب استراتيجيات تمويل بديلة مثل الصكوك الخضراء أو الصناديق السيادية التي تضمن استمرارية التمويل بعيدًا عن تقلبات أسعار .

• نقص في الدراسات الاقتصادية المفصلة التي تقيم جدوى هذه المشروعات على المدى الطويل أو تلخص التكلفة والعوائد المالية المرتبطة باحتجاز وتخزين الكربون في المملكة العربية السعودية لتحديد الأولوية والمساعدة في جذب التمويل.

3. دور الصكوك المستدامة في تمويل مشروعات احتجاز وتخزين الكربون في المملكة العربية السعودية

أ- الصكوك المستدامة

تعرف الصكوك المستدامة بأنها نوع متقدم من الصكوك الإسلامية التي تم دمجها مع المبادئ البيئية والاجتماعية والحوكمة، و تخصيص إيرادات هذه الصكوك لدعم المشاريع المستدامة مثل مشاريع الطاقة المتجددة، إدارة النفايات، أو المياه النظيفة بهدف تحقيق العوائد المالية وأهداف التنمية المستدامة معاً، حيث تركز على المعايير البيئية والاجتماعية في تقييم المشاريع المدعومة بهذه الصكوك لضمان تطابقها مع الأهداف المستدامة. (البنك الإسلامي للتنمية، 2022).

تختلف الصكوك المستدامة عن التقليدية في اشتراطها معايير مزدوجة (الشريعة والاستدامة)، وارتباطها بمشاريع ذات أثر بيئي مباشر و يوضح الجدول رقم (1) أهم الفروق الجوهرية بين الصكوك التقليدية و الصكوك المستدامة.

جدول رقم (1) أهم الفروق الجوهرية بين الصكوك التقليدية و الصكوك المستدامة

المعيار	الصكوك التقليدية	الصكوك المستدامة
الهدف	تمويل عام لأغراض تجارية أو تنمية	تمويل مشاريع ذات أثر بيئي/اجتماعي
المعايير الحاكمة	الشريعة الإسلامية فقط	الشريعة + معايير ESG (مثل ICMA أو CBI)
الهيكل المالي	قد يكون مرتبطاً بأصول عامة أو	مرتبط بأصول مشروع مستدام

(مثل محطات الطاقة الشمسية)	مشاريع غير محددة	
مستثمرون مهتمون بالاستثمار المسؤول (SRI)	مستثمرون تقليديون في السوق الإسلامي	جهات الجذب
تقارير مالية + تقارير تأثير بيئي/اجتماعي	تقارير مالية فقط	التقارير المطلوبة

المصدر : من إعداد الباحث

كما تُعد الصكوك المستدامة جزءًا من الاقتصاد الدائري الكربوني الذي تتبناه المملكة العربية السعودية في رؤيتها 2030 ، حيث تعتبر الصكوك المستدامة أحد الأدوات المالية الحديثة التي تُستخدم لتمويل مشروعات ذات قيمة بيئية كبيرة، ومن بينها مشروعات احتجاز وتخزين الكربون في المملكة العربية السعودية.

فإصدار الصكوك المستدامة يعزز القدرة على جذب الاستثمارات المتوافقة مع المبادئ البيئية والاجتماعية، يساعد في تنفيذ مشروعات احتجاز الكربون في المملكة العربية السعودية و دعم مشاريع التكنولوجيا البيئية والاستدامة، وخاصة في إطار جهود المملكة لتحقيق أهداف رؤية المملكة 2030 للحد من الانبعاثات الكربونية وتحقيق الاستدامة البيئية ويمكن حصر جهود المملكة في زيادة الاعتماد علي الصكوك المستدامة في النقاط التالية:

-أصدرت المملكة في عام 2022م أول صكوك خضراء لها بقيمة 2.5 مليار دولار أمريكي لدعم تمويل المشاريع البيئية، وكان من المتوقع أن تساهم هذه الإصدارات في جذب استثمارات جديدة في مشاريع مثل احتجاز الكربون (Global CCS Institute, 2022) . وتستفيد المملكة من التمويل عن طريق استثمار عائدات هذه الصكوك في مشاريع تهدف إلى تحسين أداء قطاع الطاقة واحتجاز الكربون.

- مشروع "مسار احتجاز الكربون" الذي أطلقته شركة أرامكو، والذي يعتبر أحد أكبر مشاريع احتجاز الكربون في العالم، على تخزين مليارات الأطنان من ثاني أكسيد الكربون، ويُعد نموذجًا ناجحًا لاستخدام الصكوك المستدامة في تمويل هذه المشروعات، و تم تمويله جزئيًا من خلال إصدار صكوك مستدامة في السوق السعودي والدولي، مما ساهم في تعزيز قدرة المملكة على تنفيذ المشاريع البيئية (IFC, 2023).

-مشروع الخفجي و يهدف إلى تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن العمليات النفطية من خلال تقنيات حقن الكربون في الحقول النفطية لزيادة الإنتاج وتقليل الانبعاثات.

-مشروع "أكوا باور" للطاقة الشمسية. ويمثل هذا المشروع جزءًا من مشروعات الطاقة المتجددة التي يتم تمويلها باستخدام الصكوك المستدامة، و يستهدف مشروع أكوا باور للطاقة الشمسية خفض الانبعاثات الكربونية بشكل كبير من خلال استخدام تقنيات احتجاز الكربون، وقد تم تمويل جزء من هذا المشروع باستخدام الصكوك الخضراء .

-مشروع "نيوم" للهدروجين الأخضر تبلغ تكلفته 5 مليارات دولار، يتطلب استخدام تقنيات احتجاز وتخزين واستخدام الكربون لضمان انخفاض الانبعاثات ، يتم تمويل هذا المشروع جزئيًا من خلال الصكوك المستدامة، خاصة مع اهتمام المستثمرين الدوليين بالمشروعات الخضراء الكبرى (KAPSARC, 2024) .

ب- الصكوك المستدامة الابتكارية:

تُعد الصكوك المستدامة الابتكارية نموذجًا متطورًا يجمع بين الامتثال للشرعية الإسلامية، وتحقيق الأهداف البيئية والاجتماعية، واستخدام تقنيات مالية مبتكرة، وتعرف الصكوك المستدامة الابتكارية بأنها أدوات تمويلية إسلامية تُصدر لتمويل مشاريع مستدامة، مع دمج عناصر تكنولوجية أو هيكلية غير تقليدية لتعزيز الكفاءة أو الشفافية أو الأثر البيئي. (البنك الإسلامي للتنمية، 2022).

وتأخذ آليات الابتكار في الصكوك المستدامة أربعة صور كالتالي:

- الربط بالتكنولوجيا المالية (FinTech) مثل البلوك تشين، و الذكاء الاصطناعي.
 - الهياكل المالية المبتكرة مثل صكوك الأداء وصكوك التوريد الأخضر.
 - الدمج مع أدوات التمويل الأخرى.
 - دمج الصكوك مع صناديق الاستثمار في الشركات الناشئة الخضراء.
- وسنركز على استعراض أحد تلك الصور وهو ربط الصكوك المستدامة بتقنية البلوك تشين.

ربط الصكوك المستدامة بتقنية البلوك تشين

تُعد تقنية البلوك تشين (Blockchain) أحد أبرز الابتكارات التكنولوجية التي تُعيد تشكيل القطاع المالي، لا سيما في مجال التمويل المستدام والصكوك الإسلامية. تعتمد هذه التقنية على نظام لامركزي يضمن الشفافية والأمان عبر تسجيل المعاملات في سلسلة كتل مُشفرة لا يمكن تعديلها. في سياق الصكوك المستدامة، تقدم البلوك تشين حلولاً مبتكرة لتعزيز الثقة وتقليل التكاليف وقياس الأثر البيئي (Nakamoto, 2008).

وقد أصدرت ماليزيا عام 2021 صكوكًا خضراء بقيمة 1.1 مليار دولار باستخدام منصة بلوك تشين، مما سمح بتخفيض وقت التسوية من 7 أيام إلى 24 ساعة. (Securities Commission Malaysia, 2021)

كذلك أطلقت المملكة العربية السعودية منصة بلوك تشين لتداول الصكوك الحكومية، حيث بلغ حجم التداولات 50 مليار ريال بنهاية 2023. (Ministry of Finance, 2023)

آلية عمل البلوك تشين في الصكوك المستدامة:

- الهيكل التقني:

السجلات الموزعة : (Distributed Ledger) تخزين جميع معاملات الصكوك في قاعدة بيانات مشتركة بين جميع الأطراف (المصدر، المستثمر، الجهة الرقابية)، مما يمنع التلاعب.

العقود الذكية: (Smart Contracts) بروتوكولات مُبرمجة تُنفذ شروط الصكوك تلقائيًا عند استيفاء الشروط مثل تحويل العوائد عند تحقيق هدف خفض الانبعاثات.

- إصدار الصكوك الرقمية:

تحويل الصكوك إلى أصول رقمية قابلة للتداول عبر منصات مبنية على البلوك تشين، مثل منصة SAMA السعودية لإصدار الصكوك الحكومية. (SAMA, 2023)

-تتبع الأثر البيئي: ربط بيانات انبعاثات الكربون من المشاريع الممولة بسجلات البلوك تشين، مما يوفر شفافية في تقارير الاستدامة (Climate Bonds Initiative, 2022).

و تتمثل أهم المنافع الرئيسية للبلوك تشين في الصكوك المستدامة في:

- تعزيز الشفافية: حيث تتيح تقنية البلوك تشين للمستثمرين الوصول إلى بيانات آنية عن تدفقات الأموال وأداء المشروع، مما يقلل من مخاطر الغسل الأخضر (Green washing) مصطلح يُستخدم لوصف الممارسات التي تهدف إلى تحسين الصورة البيئية

لشركة أو جهة ما دون أن تكون هذه الممارسات حقيقية أو فعّالة. ويحدث هذا عادة عبر حملات دعائية أو تسويقية تظهر تلك الجهات بمظهر صديق للبيئة في حين أن ممارساتها الفعلية لا تدعم البيئة بالشكل المطلوب (UNEP, 2021). (.)
خفض التكاليف التشغيلية: إلغاء الحاجة إلى وسطاء تقليديين (مثل البنوك الاستثمارية) عبر العقود الذكية، مما يقلل رسوم الإصدار بنسبة تصل إلى 40% (IMF, 2024).

- تسهيل الامتثال للشرعية: تسمح العقود الذكية بدمج شروط الامتثال الشرعي (مثل تحريم الربا) تلقائيًا في هيكل الصكوك . (AAOIFI, 2020).

تشكل تقنية البلوك تشين نقلة نوعية في هيكل الصكوك المستدامة، حيث تجمع بين الامتثال الشرعي والكفاءة المالية والشفافية البيئية. ومع تبني المملكة العربية السعودية لهذه التقنية في إطار رؤيتها 2030، يمكن تعزيز موقعها كمركز عالمي للتمويل الإسلامي المستدام، شرط معالجة التحديات التقنية والتنظيمية.

1.3 ثالثاً : تطبيق الصكوك المستدامة باستخدام البلوكتشين لتمويل مشروعات احتجاز الكربون: رؤية

المملكة 2030

يعد استخدام الصكوك المستدامة المدعومة بالبلوكتشين والمنصات الرقمية نموذجًا تمويليًا مبتكرًا يساهم في توفير آلية تمويل مرنة وشفافة لمشروعات احتجاز و تخزين الكربون ، يستند النموذج التمويلي المقترح علي دمج الصكوك المستدامة بتقنية البلوكتشين ومنصات التمويل الجماعي بدون الاعتماد على العملات الرقمية المشفرة كما هو موضح بالشكل رقم (1):

الشكل رقم (1)

دمج الصكوك المستدامة بتقنية البلوك تشين ومنصات التمويل الجماعي



2.3 آلية التمويل طبقا للنموذج المقترح :

1/2/3- إنشاء منصة بلوكتشين خاصة للصكوك المستدامة:

تطوير منصة بلوك تشين تكون خاصة مع تخصيصها للتمويل الجماعي للصكوك المستدامة ، تسجيل جميع المعاملات وبيانات الاستثمار بشكل غير قابل للتغيير، تُقلل بيانات المستثمرين وحصصهم تلقائيًا إلى البلوكتشين عبر واجهات برمجية تُحوّل الأموال المجمعة من بيع الصكوك إلى حسابات مشروعات احتجاز الكربون عبر تحويلات بنكية تقليدية أو أنظمة دفع رقمية، يمكن لجميع الأطراف المشاركة في التمويل الجماعي (المتبرعين، المستفيدين، المطورين) الوصول الشبكة اللامركزية بطريقة مرنة وآمنة .

2/2/3- استخدام العقود الذكية لتنظيم الصكوك المستدامة لتمثيل الصكوك بشكل رقمي، بحيث تتضمن كافة التفاصيل المتعلقة

بالعائدات، فترة الاستحقاق، وأهداف الاستخدام، كذلك الشروط التي تضمن التزامها بأهداف بيئية أو اجتماعية، ويتم تدقيق هذه الأهداف بواسطة الأطراف المعنية.

3/3/3- دمج منصة التمويل الجماعي مع البلوك تشين بحيث يمكن للمستثمرين في المشاريع المستدامة شراء الصكوك المستدامة

عبر هذه المنصة مما يتيح للمستثمرين إمكانية بيع أو شراء حصص في الصكوك المستدامة حسب الحاجة يمكن صغار المستثمرين من المشاركة في تمويل احتجاز وتخزين الكربون عبر شراء حصص في الصكوك المستدامة باستخدام توكنات رقمية ، كذلك تتيح للمستثمرين من جميع أنحاء العالم المشاركة في تمويل المشاريع مما يعزز من التمويل ويساهم في تحقيق أهداف التنمية المستدامة. عندما تتحقق الشروط التي حددها العقد الذكي، يتم تحويل المبالغ المجمعة تلقائيًا للمشروع. وإذا لم يتم تحقيق الهدف، يتم تحديد ما إذا كان يجب إعادة الأموال للمساهمين أو حفظها.

4/2/3- إدخال آلية الدفع والتوزيع باستخدام البلوك تشين لضمان توزيع الأرباح أو العوائد للمستثمرين بشكل آمن

وشفاف.

و تصميم عقود ذكية لضمان توزيع الأرباح على حاملي الصكوك تعكس الأداء الفعلي للمشروع المستدام.

5/2/3- التفاعل مع الجهات المصدرة للصكوك المستدامة لدمج التقنيات المتقدمة مثل البلوك تشين في عمليات إصدار

هذه الصكوك، و ضمان أن المؤسسات المصدرة تلتزم بالمعايير البيئية والاجتماعية والحوكمة (ESG) عند إصدار الصكوك.

6/2/3- التحقق من التزام الصكوك بمعايير الاستدامة بالاعتماد على البلوك تشين في توثيق كمية الكربون المحتجز

والمخزن في كل مرحلة من مراحل المشروع، مما يتيح للمستثمرين متابعة الأداء البيئي للمشروع وتتبع الأداء البيئي ، و ربط العوائد المالية بنجاح المشروع في تحقيق هذه الأهداف البيئية.

7/2/3 - صياغة آلية للمكافآت والضمانات لتشجيع المستثمرين على دعم مشروعات احتجاز وتخزين الكربون، و ربط

المكافآت بإنجازات المشروع البيئية، من خلال العقود الذكية والبلوك تشين.

3/3 : دور المصارف الإسلامية في النموذج التمويلي المقترح لتمويل مشروعات احتجاز وتخزين الكربون :

هذا النموذج يوفر فرصة كبيرة للمصارف الإسلامية للمشاركة في دعم المبادرات البيئية المستدامة، بما يتوافق مع الشريعة الإسلامية.

فيما يلي أهم الأدوار المقترحة للمصارف الإسلامية لزيادة الكفاءة التمويلية للنموذج المقترح:

• هيكلية الصكوك المستدامة بهدف تصميم صيغ مبتكرة للصكوك المستدامة المتوافقة مع الشريعة، و المخصصة لتمويل مشروعات

احتجاز الكربون، مع ضمان ارتباط العوائد بأداء المشروع (مبدأ المشاركة في الربح والخسارة).

• الشراكة مع منصات البلوكتشين و التعاون مع منصات رقمية متخصصة لإصدار الصكوك المستدامة عبر تقنية البلوكتشين، مما

يقلل تكاليف الإصدار ويزيد سرعة تداولها.

• يمكن للمصارف الإسلامية تجميع أصول مُؤَلَّة عبر الصكوك المستدامة (مثل حقوق تخزين الكربون) وإعادة توزيعها كأوراق

مالية خضراء لجذب مستثمرين مؤسسيين.

• تحفيز الابتكار في تقنيات احتجاز وتخزين الكربون من خلال تمويل الأبحاث والتطوير في هذه التقنيات باستخدام الأدوات المالية

المستدامة، وإنشاء مشروعات ريادية تساهم في تطوير تقنيات جديدة لمعالجة آثار التغير المناخي (Al-Saidi, 2021).

• تسهيل الشراكات بين القطاعين العام والخاص لتمويل مشروعات احتجاز وتخزين الكربون، تساهم هذه الشراكات في تعزيز

قدرة المصارف على جذب الاستثمارات المشتركة، لضمان توفير التمويل اللازم لمشروعات الطاقة النظيفة واحتجاز الكربون (Smith

& Wang, 2022).

• توسيع نطاق وصولها إلى أسواق التمويل العالمية، من خلال المنصات الرقمية المدعومة بتقنية البلوكتشين حيث تتيح هذه

المنصات للمستثمرين من مختلف أنحاء العالم إمكانية شراء الصكوك المستدامة الموجهة لتمويل مشروعات احتجاز الكربون مما يتيح

للمصارف جذب استثمارات أكبر من السوق الدولية (Smith & Wang, 2022).

• تطوير منصات تداول رقمية للصكوك المستدامة، مما يوفر سيولة للمستثمرين ويجذب شريحة جديدة من صغار المستثمرين

المهتمين بالاستثمارات المستدامة.

• الرقابة على الامتثال المزدوج الامتثال الشرعي والامتثال البيئي وإرفاق هذه البيانات بالسجلات المالية لضمان مصداقية المشروع.

• رفع الوعي حول أهمية الاستدامة البيئية. من خلال تسهيل الوصول إلى هذه المشروعات، تشجع المصارف الإسلامية المستثمرين على المشاركة في المبادرات البيئية، مما يساهم في خلق بيئة استثمارية مستدامة تعود بالنفع على الجميع. كما أن دعم المشروعات البيئية يعزز من صورة المصارف الإسلامية كجهات تمويل مسؤولة تلتزم بالمبادئ الأخلاقية والبيئية في تعاملاتها المالية (Hafez, 2023).

3/3 . تحديات النموذج التمويلي المقترح :

يمتلك نموذج الصكوك المستدامة المدعومة بتقنية البلوكتشين والمنصات الرقمية المقومات الرئيسية ليعد أداة تمويل مبتكرة لدعم مشروعات احتجاز وتخزين الكربون، لكنه يواجه عدة تحديات، وتتمثل هذه التحديات في عدة جوانب تتعلق بالتقنية، والقانون، والاقتصاد، والأسواق، والبيئة، والشركاء الاستراتيجيين. وفيما يلي عرض لأهم هذه التحديات :

1. التحديات التقنية المتعلقة بالبلوكتشين

بالرغم أن تقنية البلوكتشين توفر العديد من الفوائد مثل الشفافية والأمان، إلا أن هناك بعض التحديات التقنية التي قد تعيق استخدامها بشكل فعال في تمويل مشروعات احتجاز وتخزين الكربون:

- التعقيد الفني: تنفيذ تقنية البلوكتشين يتطلب بنية تحتية معقدة ومصادر بشرية متخصصة في تطوير وصيانة هذه التقنية، مما يزيد التكاليف المرتبطة بالتنفيذ (Smith & Wang, 2022).

- القدرة على التوسع: قد تواجه الشبكات المعتمدة على البلوكتشين صعوبة في التوسع لمواكبة حجم المعاملات الكبير الذي قد يتطلبه تمويل مشروعات بيئية على مستوى عالمي (Gupta & Sharma, 2020).

- التوافق مع الأنظمة التقليدية: تواجه المنصات الرقمية المدججة مع البلوكتشين صعوبة في التكيف مع الأنظمة المالية التقليدية في العديد من البلدان التي تفتقر إلى البنية التحتية الرقمية المناسبة (Hafez, 2023).

2- التحديات القانونية والتنظيمية

يتطلب تطبيق هذا النموذج التمويلي إطارًا قانونيًا وتنظيميًا داعمًا، إلا أن هناك العديد من التحديات القانونية التي قد تعوقه:

غياب التشريعات المناسبة: لا يوجد في العديد من الدول إطار قانوني واضح ينظم استخدام البلوكتشين في التمويل المستدام، مما يعيق تبني هذه الأدوات في الأسواق المالية (Al-Saidi, 2021).

3- التحديات المالية والاقتصادية

على الرغم من الفوائد المحتملة لهذا النموذج التمويلي، إلا أن هناك تحديات مالية واقتصادية كبيرة: تتمثل في :

- ارتفاع التكاليف : يتطلب استخدام تقنيات البلوكتشين وصكوك التمويل المستدام استثمارات ضخمة في البنية التحتية وتطوير المنصات الرقمية، مما يؤدي إلى ارتفاع التكاليف الأولية (Hafez, 2023).

- الاستقرار المالي: نظرًا لتقلبات الأسواق المالية، فإن المستثمرين قد يواجهون صعوبة في تقييم المخاطر المرتبطة بالصكوك المستدامة المدعومة بالبلوكتشين، مما قد يقلل من ثقتهم في هذه الأدوات (Smith & Wang, 2022).

- الحاجة إلى التمويل الكافي: من الصعب جذب تمويل كافٍ لهذه المشروعات في المراحل الأولية، حيث قد يتردد المستثمرون في المشاركة في مشاريع جديدة تحتاج إلى وقت طويل لتحقيق عوائد ملموسة (Al-Saidi, 2021).

4. التحديات المتعلقة بقبول السوق والمستثمرين

تواجه هذه الأدوات التمويلية مقاومة من بعض المستثمرين والأسواق التقليدية بسبب عدة عوامل:

- محدودية الوعي: لا يزال العديد من المستثمرين يجهلون الصكوك المستدامة المدعومة بتقنية البلوكتشين، مما يؤدي إلى انخفاض الاهتمام بهذه الأدوات في الأسواق المالية (Gupta & Sharma, 2020).
- تردد المستثمرين التقليديين: يواجه بعض المستثمرين التقليديين صعوبة في قبول التقنيات الجديدة مثل البلوكتشين، وهو ما قد يؤدي إلى بطء في توسع السوق (Hafez, 2023).
- تقلبات الأسواق الرقمية: الأسواق الرقمية المرتبطة بالبلوكتشين قد تشهد تقلبات شديدة، مما يجعل بعض المستثمرين يترددون في المشاركة في هذه الأدوات المالية (Al-Saidi, 2021).
- رابعاً: - تحليل اقتصادي أكاديمي موسع لمنهجية (SWOT) الخاصة بالنموذج التمويلي المقترح (الصكوك المستدامة القائمة على البلوكتشين لتمويل احتجاز الكربون)، يجب فحص العوامل الداخلية والخارجية من منظور "اقتصاديات المعلومات"، "تكاليف المعاملات"، و"كفاءة الأسواق المالية:
- فيما يلي تحليل استراتيجي واقتصادي لهذا النموذج:
- التحليل الاستراتيجي الداخلي (القدرات ونقاط الضعف)
- 1- نقاط القوة (Strengths) - المزايا التنافسية للنموذج:
- خفض تكاليف المعاملات (Transaction Costs): تساهم تقنية البلوكتشين في تقليل الاعتماد على الوسطاء الماليين، مما يؤدي لخفض رسوم الإصدار بنسبة تقارب 40%.
 - معالجة مشكلة "عدم تماثل المعلومات": تضمن تقنية السجلات الموزعة شفافية آنية تمنع "الغسل الأخضر" (Green Washing)، مما يعزز ثقة المستثمرين في الأداء البيئي الحقيقي للمشروع.
 - كفاءة الامتثال الهيكلي: دمج العقود الذكية (Smart Contracts) يضمن تنفيذ شروط الشريعة الإسلامية وأهداف الاستدامة تلقائياً، مما يحول الامتثال من "إجراء إداري" إلى "بروتوكول تقني".
 - تعزيز السيولة: تتيح المنصات الرقمية تفتيت الأصول (Fractional Ownership)، مما يسمح لصغار المستثمرين بالمشاركة وتداول الصكوك بسهولة، وهو ما يرفع من كفاءة السوق الثانوية.
- 2- نقاط الضعف (Weaknesses) - العوائق الهيكلية:
- كثافة رأس المال الأولي: تتطلب البنية التحتية للبلوكتشين والمنصات الرقمية استثمارات ضخمة في البداية، مما يزيد من الأعباء المالية قبل بدء التشغيل.
 - طول فترة استرداد التكاليف: تعاني مشروعات احتجاز الكربون من دورة استثمارية طويلة تتراوح بين 10 إلى 15 سنة، مما قد لا يتناسب مع تطلعات بعض مستثمري القطاع الخاص.
 - التعقيد التشغيلي: يتطلب النموذج تكاملاً معقداً بين الأنظمة التقنية الحديثة والأنظمة المالية التقليدية، وهو ما يمثل تحدياً في ظل نقص الكوادر المتخصصة.
- التحليل البيئي الخارجي (الفرص والتحديات)
- 1- الفرص (Opportunities) - آفاق النمو الاستراتيجي:
- الميزة الجغرافية والجيولوجية: تمتلك المملكة سعة تخزينية ضخمة لثاني أكسيد الكربون (تصل إلى 318 جيجا طن في حوض الربع الخالي)، مما يجعلها وجهة عالمية مثالية لهذا النوع من الاستثمارات.

التكامل مع رؤية 2030: يوفر النموذج أداة مالية تدعم التزام المملكة بالوصول للحياد الصفري بحلول 2026، واحتجاز 44 مليون طن سنوياً بحلول 2035 .

توسع سوق التمويل الإسلامي الأخضر: هناك طلب عالمي متزايد على الصكوك المستدامة، مما يفتح المجال لجذب رؤوس أموال دولية تبحث عن استثمارات مسؤولة .

2- التحديات (Threats) - المخاطر الاقتصادية والبيئية:

تقلبات الأسواق السلعية: يؤثر تذبذب أسعار النفط بشكل مباشر على قدرة الميزانية العامة والقطاع الخاص على تمويل مشروعات بيئية طويلة الأجل.

المخاطر الفنية والبيئية: احتمالية تسرب الكربون أثناء التخزين تمثل خطراً تشغيلياً وقانونياً قد يؤدي لتراجع تقييم الصكوك. المنافسة السعرية: تظل تكلفة الطاقة من مشروعات احتجاز الكربون أعلى بنسبة 30-50 % من الطاقة التقليدية، مما يضعف جاذبيتها الاقتصادية أمام بدائل مثل الطاقة المتجددة (الشمس والرياح).

العوامل	التحليل الاقتصادي المترتب عليه
القوة × الفرص	استخدام الميزة الجيولوجية للمملكة مع كفاءة البلوكتشين لجذب استثمارات عالمية ضخمة تحقق رؤية 2030.
الضعف × الفرص	مواجهة طول فترة الاسترداد عبر طرح صكوك رقمية جزئية تستهدف قاعدة عريضة من صغار المستثمرين لضمان تدفق السيولة
القوة × التهديدات	استخدام الشفافية العالية للبلوكتشين لتقليل مخاطر الاستثمار في ظل تقلبات أسعار النفط، مما يجعلها ملاذاً آمناً للمستثمرين الأخلاقيين
الضعف × التهديدات	معالجة التعقيد الفني والمخاطر الفنية من خلال شراكات بين القطاعين العام والخاص لتوزيع الأعباء المالية والمخاطر

يشير التحليل السابق إلى أن النموذج يمتلك "متانة استراتيجية" نابعة من قدرته على خفض تكاليف المعلومات وتعزيز الثقة. النجاح الاقتصادي للنموذج يعتمد بشكل جوهري على سد "الفجوة التشريعية" وضمان استقرار السياسات البيئية لتحفيز القطاع الخاص.

خطة العمل التنفيذية (Implementation Roadmap) المقترحة للنموذج التمويلي، مصاغة بأسلوب أكاديمي ومنهجي يعزز من قيمة البحث عند تقديمه للمجالات الدولية، حيث تظهر هذه الخطة كيفية نقل الأفكار النظرية إلى واقع تطبيقي ملموس:

–خطة العمل التنفيذية للنموذج المقترح (Implementation Roadmap)

تظهر هذه الخطة كيفية نقل الأفكار النظرية إلى واقع تطبيقي ملموس ، يقترح البحث خطة تنفيذية لضمان نجاح نموذج "الصكوك المستدامة القائمة على البلوكتشين" في تمويل مشروعات احتجاز الكربون بالمملكة مقسمة إلى خمس مراحل أساسية:

المرحلة الأولى: التأسيس التشريعي والتنظيمي (Regulatory Framework)

الهدف: إيجاد بيئة قانونية تدعم التمويل الرقمي المستدام.

الإجراءات:

التعاون مع البنك المركزي السعودي (SAMA) وهيئة السوق المالية (CMA) لتطوير "بيئة تجريبية" (Regulatory

Sandbox) خاصة بالصكوك الرقمية.

إعداد أطر قانونية تعترف بـ "العقود الذكية" كأدوات تنفيذية ملزمة قانوناً.

تطوير معايير شرعية موحدة لإصدار الصكوك عبر البلوكتشين لضمان الامتثال الفوري.

المرحلة الثانية: بناء البنية التحتية التقنية (Technical Architecture)

الهدف: تصميم منصة بلوكتشين آمنة وفعالة.

الإجراءات:

اختيار نوع الشبكة (يفضل Consortium Blockchain) لضمان الخصوصية والتحكم بين الأطراف الفاعلة (وزارة

الطاقة، أرامكو، المصارف).

تطوير بروتوكولات "العقود الذكية" التي تدير تلقائياً توزيع الأرباح، وتتبع خفض الانبعاثات الكربونية، وتحويلها إلى "توكنات

كربون" (Carbon Tokens).

ربط المنصة بأنظمة الاستشعار عن بُعد (IoT) في مواقع احتجاز الكربون لضمان تدفق بيانات دقيقة وموثوقة.

المرحلة الثالثة: الهندسة المالية وتصميم الصكوك (Financial Engineering)

الهدف: هيكلة أداة مالية جاذبة للمستثمرين.

الإجراءات:

تحديد نوع الصكوك المناسب (مثل صكوك الاستصناع للمرحلة الإنشائية، أو صكوك المشاركة لمرحلة التشغيل).

ربط العائد المالي للصكوك بمزايا إضافية مثل "اتسمانات الكربون" التي يمكن تداولها في "سوق الكربون الطوعي" بالمملكة.

تجزئة الصكوك (Fractionalization) لتمويل المشاريع عبر قاعدة عريضة من المستثمرين (التمويل الجماعي).

المرحلة الرابعة: المشروع الريادي والإطلاق التجريبي (Pilot Launch)

الهدف: اختبار كفاءة النموذج في بيئة واقعية.

الإجراءات:

اختيار مشروع احتجاز كربون متوسط الحجم (بالتعاون مع أرامكو أو سابك) لتطبيق النموذج عليه.

مراقبة أداء المنصة الرقمية وسرعة تنفيذ المعاملات ومدى ثقة المستثمرين المشاركين.

تقييم الأثر البيئي الفعلي ومطابقته للتقارير الصادرة عبر البلوكتشين.

المرحلة الخامسة: التوسع والربط العالمي (Scaling & Global Integration)

الهدف: تحويل النموذج إلى منصة وطنية وعالمية.

الإجراءات:

فتح المنصة للمستثمرين الدوليين المهتمين بالاستثمار المسؤول (ESG).
الربط مع أسواق الكربون العالمية لزيادة قيمة "ائتمانات الكربون" المولدة من المشروعات السعودية.
تطوير سوق ثانوية رقمية تتيح تداول هذه الصكوك على مدار الساعة لزيادة السيولة.

5. الخاتمة:-

خلصت هذه الدراسة إلى تقديم نموذج تمويلي مبتكر يدمج بين أدوات التمويل الإسلامي (الصكوك المستدامة) والتقنيات المالية الحديثة (البلوكتشين) لمواجهة تحديات تمويل مشروعات احتجاز وتخزين الكربون (CCS) في المملكة العربية السعودية. وأظهر التحليل الاقتصادي والأكاديمي أن هذا التكامل ليس مجرد تطوير تقني، بل هو ضرورة استراتيجية لخفض تكاليف المعاملات، وتعزيز الشفافية، ومعالجة مشكلة عدم تماثل المعلومات التي غالباً ما تعيق الاستثمارات البيئية الكبرى.

كما أثبت تحليل (SWOT) أن النموذج يمتلك نقاط قوة جوهرية تتمثل في التوافق مع رؤية المملكة 2030 ومبادرة السعودية الخضراء، وقدرة "العقود الذكية" على أتمتة الامتثال الشرعي والبيئي. ورغم وجود تحديات تتعلق بكثافة رأس المال الأولي والفجوة التشريعية، إلا أن خارطة الطريق المقترحة توفر مساراً عملياً للتغلب على هذه العقبات من خلال تكامل الأدوار بين الجهات السيادية (كصندوق الاستثمارات العامة ووزارة الطاقة) والجهات التنظيمية (كالبنك المركزي وهيئة السوق المالية). إن نجاح هذا النموذج سيجعل من المملكة مركزاً عالمياً رائداً للاقتصاد الدائري للكربون والتمويل الإسلامي الأخضر.

6. التوصيات:

بناءً على نتائج الدراسة والتحليل الاستراتيجي للنموذج، يوصي البحث بالآتي:

التوصيات السياسية والتشريعية:

إنشاء بيئة تجريبية تنظيمية (Regulatory Sandbox): توصي الدراسة بقيام البنك المركزي السعودي وهيئة السوق المالية بتدشين بيئة اختبار خاصة بالصكوك الرقمية المستدامة، لتجربة العقود الذكية في بيئة رقابية آمنة قبل الإطلاق الشامل.

تقنين العقود الذكية: ضرورة إيجاد إطار قانوني يعترف بالحجية القانونية للعقود القائمة على البلوكتشين في المحاكم التجارية، خاصة فيما يتعلق بتوزيع الأرباح الآلي وإثبات ملكية الأصول.

التوصيات التقنية والفنية:

الربط التقني الموحد: التوصية بتطوير منصة بلوكتشين وطنية موحدة تشرف عليها "سدايا" بالتعاون مع وزارة الطاقة، لربط بيانات احتجاز الكربون من المواقع الميدانية (عبر IoT) بالمنصة المالية مباشرة لضمان دقة "ائتمانات الكربون".

تعزيز الأمن السيبراني: الاستثمار في بنية تحتية رقمية متينة لحماية بيانات المستثمرين وضمان استمرارية تشغيل العقود الذكية دون ثغرات تقنية.

التوصيات الاقتصادية والتمويلية:

تحفيز الاستثمار الأخضر: منح حوافز ضريبية أو إعفاءات للمستثمرين في "صكوك الكربون الرقمية" لتشجيع القطاع الخاص على التحول من التمويل التقليدي إلى التمويل المستدام.

تفعيل سوق الكربون الطوعي: ربط عوائد الصكوك الرقمية بأسعار الكربون في الأسواق العالمية والمحلية، مما يرفع من الجدوى الاقتصادية للمشروعات ويزيد من جاذبيتها للمستثمرين الدوليين.

التوصيات الاستراتيجية:

التكامل المؤسسي: إنشاء لجنة عليا مشتركة تضم (وزارة الطاقة، **PIF**، ومبادرة السعودية الخضراء) للإشراف على تنفيذ خارطة الطريق الزمنية المقترحة وضمان انسجام المشروعات مع المستهدفات الوطنية.

بناء القدرات البشرية: إطلاق برامج تدريبية تخصصية تجمع بين "المالية الإسلامية" و"تقنيات البلوكتشين" و"هندسة البيئة" لإعداد جيل من الكوادر القادرة على إدارة هذه المنظومة المتكاملة.